

Olympiades de géosciences - 2015

Académies hexagonales et AEFÉ

Épreuve écrite du 2 avril 2015

Durée de l'épreuve : 4h

Le sujet se compose de trois exercices notés sur dix points chacun. Il comporte de nombreux documents, mais leur exploitation et les réponses attendues sont courtes.

La calculatrice est autorisée.

Un réacteur nucléaire de 2 milliards d'années

Au cours de l'été 1972 des chercheurs du Commissariat à l'énergie atomique ont fait une très curieuse découverte : des réactions en chaîne de fission avaient pris naissance spontanément au sein d'un gisement d'uranium du Gabon daté de 1,95 Ga (1 Ga = 10^9 années). Certaines portions de ce gisement avaient fonctionné pendant des centaines de milliers d'années comme nos réacteurs nucléaires modernes...

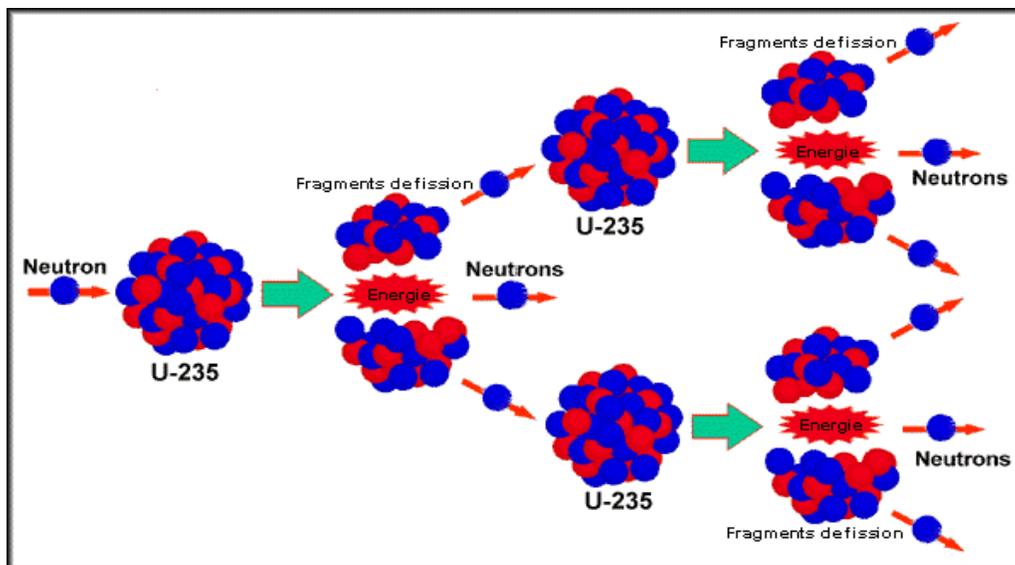


La recherche, N° 57 juin 1975

À partir des documents présentés, expliquer comment les géologues ont démontré qu'un réacteur nucléaire a fonctionné il y a 1,95 Ga à OKLO au Gabon.

Document 1 : le principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire. Un exemple avec l'uranium 235.

L'uranium 235 (^{235}U) est un atome fissile, il est le combustible de nombreuses centrales nucléaires. Quand l'uranium 235 absorbe un neutron il y a une réaction de fission : l'atome d'uranium se scinde en deux noyaux fils et libère de l'énergie. Il y a plus de 40 réactions de fission possibles. Pendant ces réactions des neutrons sont libérés ; ils vont à leur tour entraîner la fission d'autres atomes d'uranium 235. C'est une réaction en chaîne.



Deux conditions doivent être réunies pour permettre le maintien de cette chaîne de réaction

- La concentration en ^{235}U doit être suffisante dans les barres de combustible pour que les neutrons libérés au cours de la fission rencontrent d'autres noyaux d'uranium 235. Cette concentration doit être comprise entre 3 à 5 %. Pour atteindre ce pourcentage les minerais extraits aujourd'hui sont enrichis en uranium 235.
- Les barres de combustible sont placées dans de l'eau ce qui diminue la vitesse de déplacement des neutrons et augmente ainsi la probabilité de rencontre entre neutron et atome d'uranium 235

- Sites du CNRS, futura science et Wikipedia

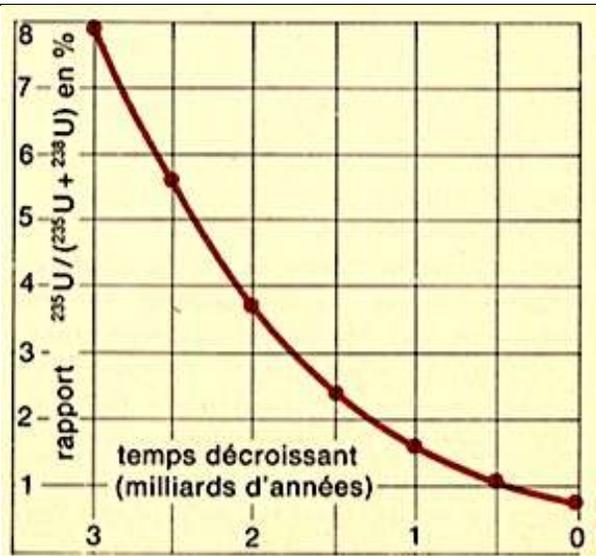
Document 2 : évolution des rapports isotopiques de l'uranium

On s'intéresse ici à deux isotopes de l'uranium :

- L'uranium 235 (^{235}U) qui est radioactif. Après 12 réactions de décroissance radioactive, il forme du plomb 207 qui est stable. La demi-vie de l'uranium 235 est de 0,71 milliards d'années.
- L'uranium 238 (^{238}U) est également radioactif. Sa demi-vie est de 4,51 milliards d'années.

La **demi-vie** correspond au temps nécessaire pour que la moitié des noyaux radioactifs se désintègrent en noyaux fils. Seul l'Uranium 235 est fissile.

Le graphique ci-contre présente l'évolution du rapport $\frac{^{235}\text{U}}{^{235}\text{U} + ^{238}\text{U}}$ exprimé en % ; ce qui revient à suivre l'évolution du % d'uranium 235 dans un gisement au cours du temps



La Recherche n°52 Juin 1975

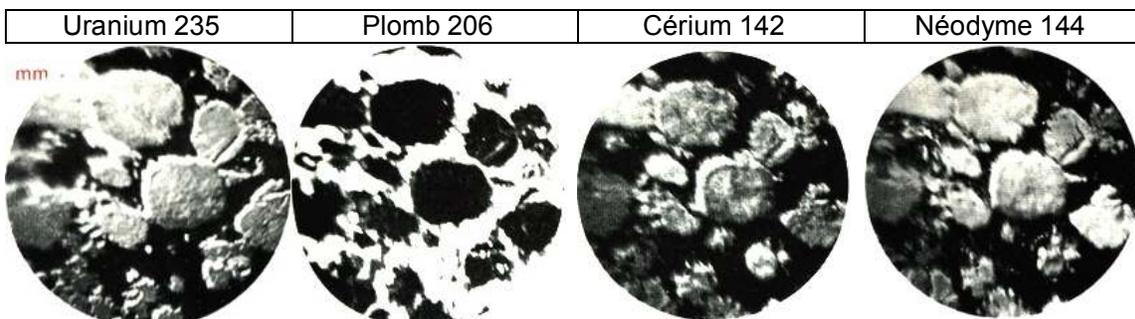
Document 3 : analyse de la composition de certains minéraux du gisement d'OKLO

Par une série de réactions de décroissance radioactive l'uranium 235 donne du plomb ; par fission l'uranium 235 donne, entre autre, du cérium 142 et du néodyme 144.

Des échantillons de minerai d'OKLO ont été observés par microanalyse ionique. Cette méthode permet d'obtenir des images donnant la répartition des atomes d'une masse donnée.

Les quatre images correspondent à la même plage d'un échantillon de 0,2 mm de diamètre. Elles montrent respectivement la répartition de l'uranium 235, du plomb 206, du cérium 142 et du néodyme 144.

Les zones claires indiquent la présence de l'atome recherché.



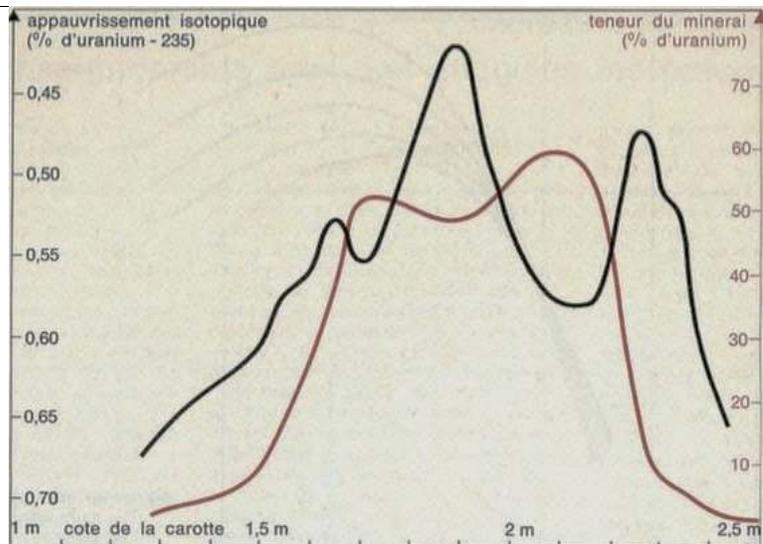
La Recherche n°52, juin 1975

Document 4 : données géochimiques sur l'uranium 235 d'OKLO

À l'exception du site d'OKLO, partout sur la planète, et même sur la Lune, le pourcentage isotopique de l'uranium 235 est de 0,7202 % (à 0,0006 près).

Des anomalies isotopiques, uniques à la surface du globe, ont été mesurées à OKLO.

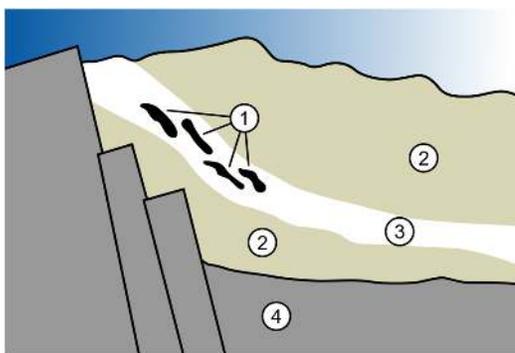
Le graphique ci-contre montre la relation entre l'appauvrissement isotopique en uranium 235 et la teneur en uranium total du minerai ($^{235}\text{U} + ^{238}\text{U}$).



La recherche n°52, juin 1975

Document 5 : nature des roches et minéralogie du site.

Coupe du site d'OKLO



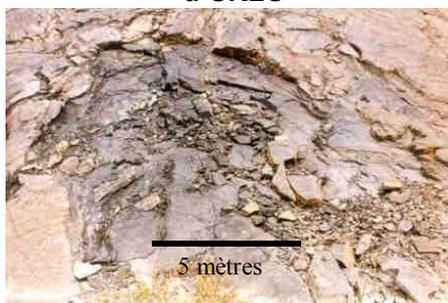
□ Réacteur naturel (zone de prélèvement des minéraux analysés dans le document 3)

Autres roches à proximité des réacteurs dont des grès.

Argile contenant de l'uranium exploité aujourd'hui et présentant l'anomalie décrite dans le document 4

Wikipédia

Photographie d'un des réacteurs d'OKLO



Les grès environnant les réacteurs naturels (en gris sur la coupe ci-contre) sont constitués de grains de quartz très altérés et cimentés dans une matrice argileuse.

La réaction d'altération du quartz (SiO_2) vers des produits solubles comme $\text{Si}(\text{OH})_4$ n'est possible qu'avec des circulations d'eau très forte dans la roche. La circulation d'eau chaude accélère le processus de dissolution du quartz.

La recherche n°52, juin 1975

Un « Big One » en Provence ?



Un skate-border profitant des déformations provoquées par le séisme du 2 Août 2014 – Baie de San Francisco -

« Dimanche 24 août 2014, les habitants de la baie de San Francisco ont eu la surprise d'un réveil en fanfare à 3h du matin : un séisme de magnitude 6 – le plus fort depuis 1989 – a secoué toute la région. Et si heureusement aucun mort n'est à déplorer, les dégâts sont tout de même importants avec des bâtiments effondrés et des routes tout juste bonnes à faire du skateboard... »

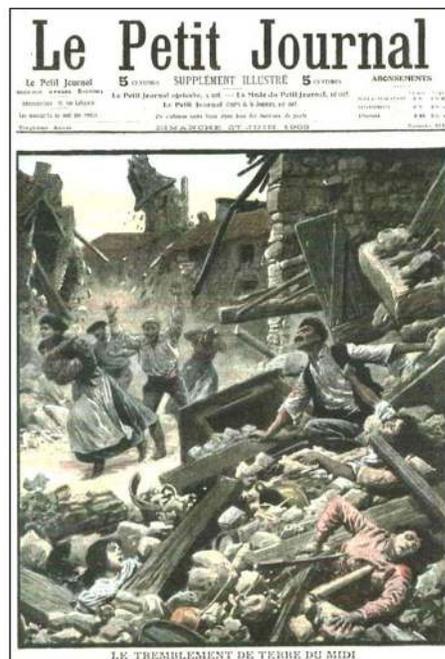
(D'après The Globobserver

<http://theglobobserver.com/2014/08/26/seisme-en-californie-en-attendant-le-big-one/>)

Ce séisme, fortement ressenti, a rappelé si besoin était la question qui obsède nombre de californiens : « A quand le « Big One » ? » ce séisme de forte magnitude censé raser des villes entières comme San Francisco ou Los Angeles.

Le 11 juin 1909, en Provence, un séisme est responsable de 46 morts, 250 blessés et de nombreux dégâts. Il montre que cette région peut également connaître une activité sismique présentant un risque pour la population et les ouvrages.

La situation en Provence est elle comparable à celle de la Californie ? Peut-on s'attendre à un « Big One » sur la côte d'Azur ? Doit-on appliquer en Provence les mêmes règles de construction parasismique qu'en Californie ?



Une du « Petit Journal » sur le « Séisme du midi »

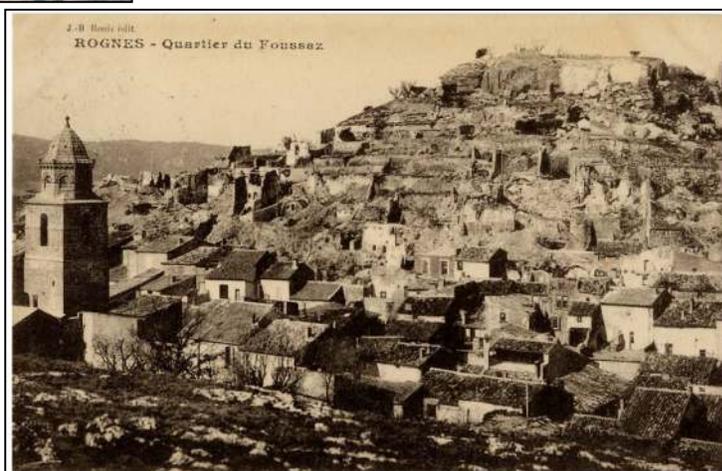
1. Utiliser les documents de la partie 1 pour expliquer la répartition des dégâts lors du séisme de Provence (11 juin 1909).
2. Montrer comment à partir des documents de la partie 2 on peut évaluer la magnitude du séisme de Provence de 1909 et approcher la période avec laquelle ce type de séisme est susceptible de survenir.
3. Comparer à l'aide des valeurs obtenues le risque sismique en Provence et en Californie.
4. Utiliser les résultats obtenus à la question 2 et les documents de la partie 3, pour discuter de la pertinence de la construction parasismique en Provence et en Californie.

Partie 1 : le séisme de Provence de 1909

Document 1.1 : photographies d'époque des dégâts dans trois villages provençaux : Venelles, Vernègues et Rognes.



« Tremblement de terre du 11 juin 1909. –
Venelles – Coin de rue en ruine »



« Rognes - Quartier du
Foussa »



« TREMBLEMENT DE TERRE
DU 11 JUIN 1909 –
VERNEGUES – Le château
s'écroulant a détruit une partie
du village »

Document 1.2 : étude de l'intensité ressentie du séisme de 1909

1.2a : échelle EMS 98 permettant d'évaluer l'intensité.

Echelle d'intensités macrosismiques (EMS-98)

Intensités EMS98	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+
Dégâts potentiels bâtiments vulnérables	aucun	aucun	aucun	aucun	très légers	modérés	quelques effondrements partiels	nombreux effondrements partiels	nombreux effondrements	effondrements généralisés
Dégâts potentiels bâtiments peu vulnérables	aucun	aucun	aucun	aucun	aucun	aucun	très légers	modérés	effondrements partiels	nombreux effondrements
Perception humaine	non senti	très faible	faible	modéré	forte	brutale	très brutale	sévère	violente	extrême

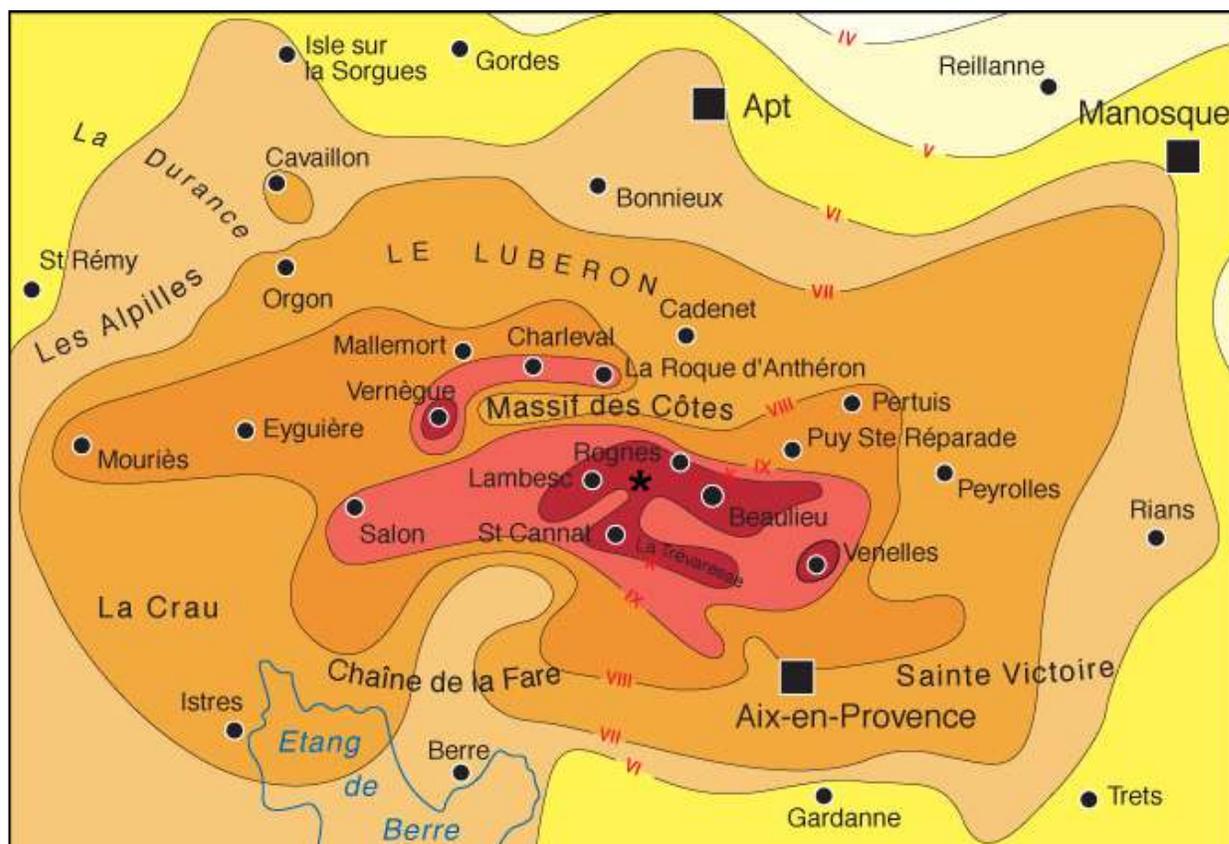
Le Bureau Central Sismologique Français
<http://www.franceseisme.fr/>

Source des données sismologiques :
 BCSF (CNRS-Univ. de Strasbourg) / LDG (CEA-DASE)

On établit après les séismes importants une carte d'intensités. On reporte sur ces cartes d'intensités les courbes d'égale intensité qu'on appelle isoséistes.

1.2b : carte de l'intensité ressentie du séisme de 1909

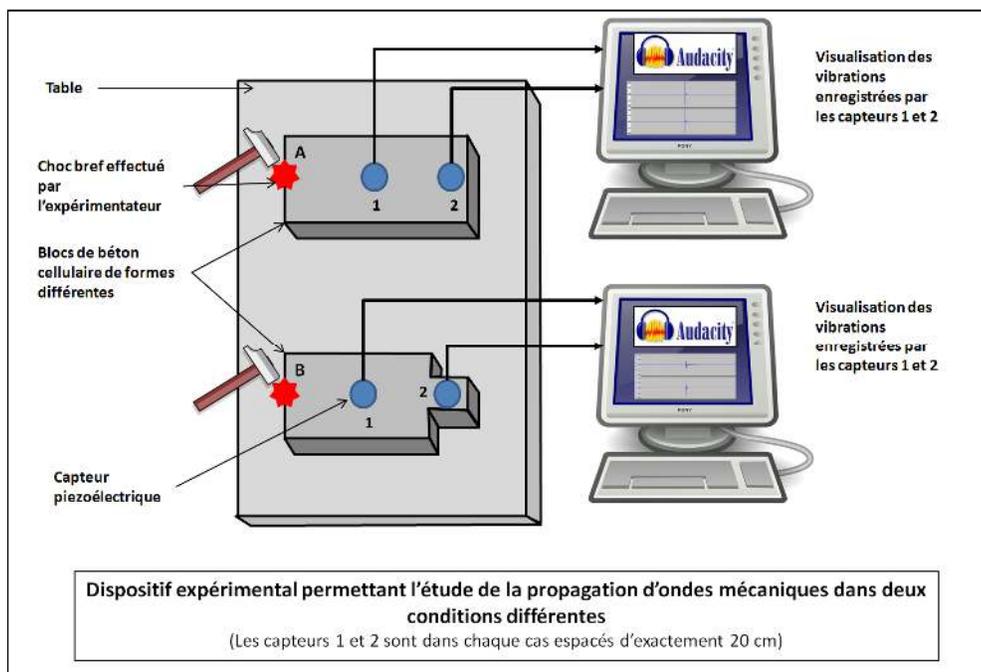
(d'après <http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/seisme-Lambesc-1909.xml>)



L'épicentre du séisme est indiqué par le symbole *

Document 1.3 : étude expérimentale de la propagation d'ondes sismiques

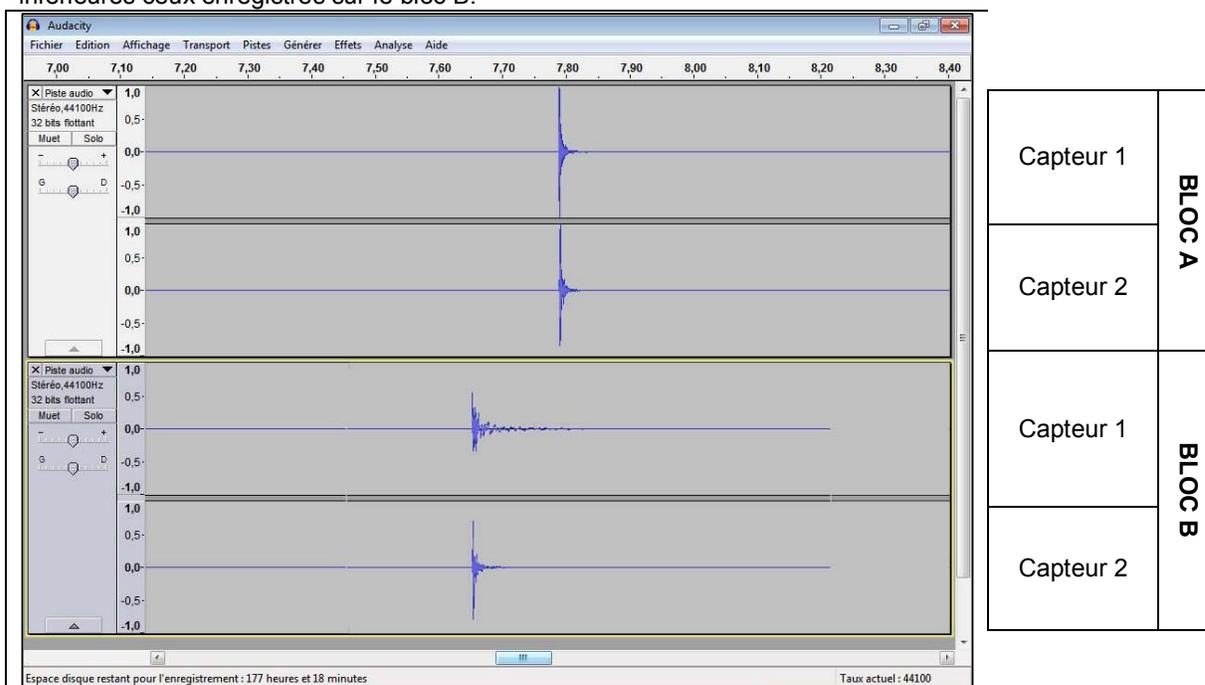
1.3a : dispositif expérimental.



1.3b : résultats des enregistrements

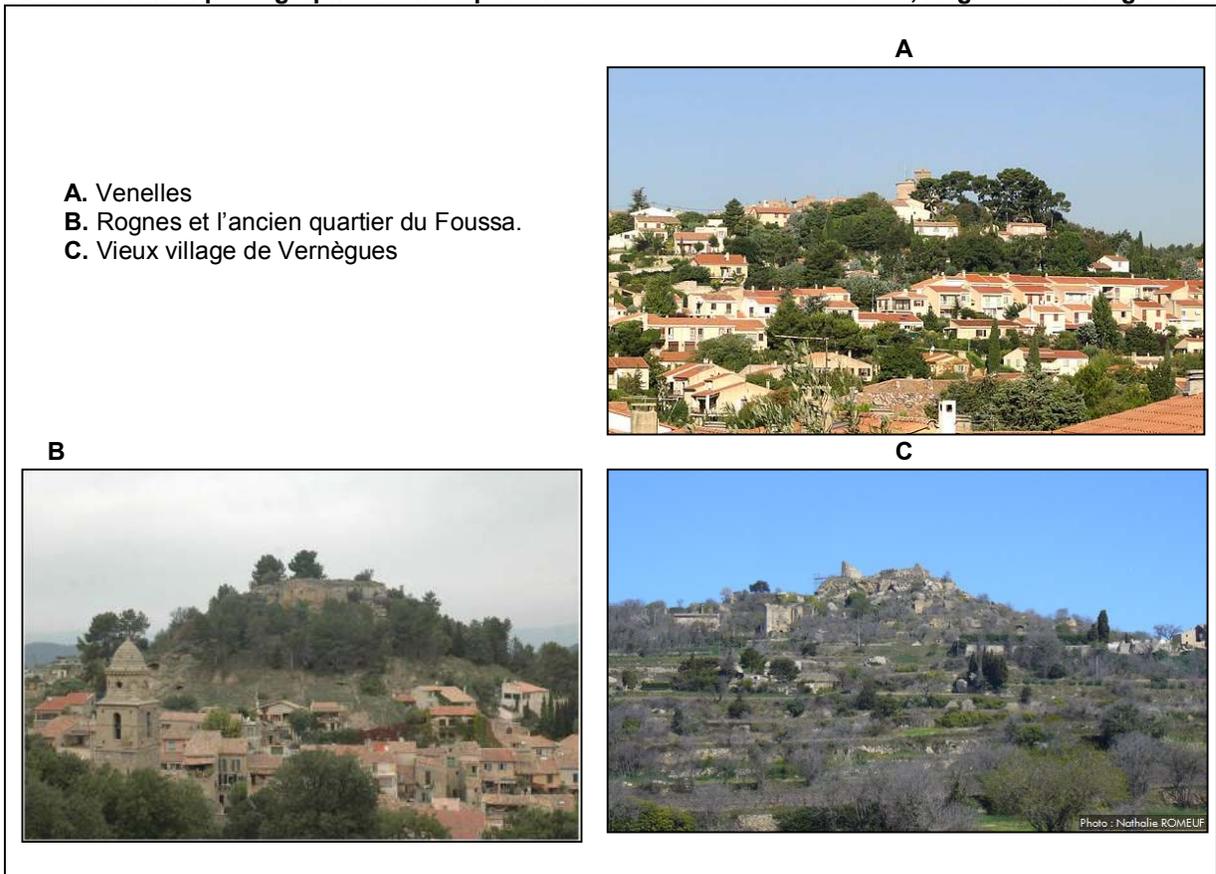
Chaque couple de pistes correspond à un enregistrement simultané des vibrations enregistrées après un choc par les capteurs 1 (en haut) et 2 (en bas).

Les deux pistes supérieures concernent les enregistrements effectués sur le bloc A, les deux pistes inférieures ceux enregistrés sur le bloc B.

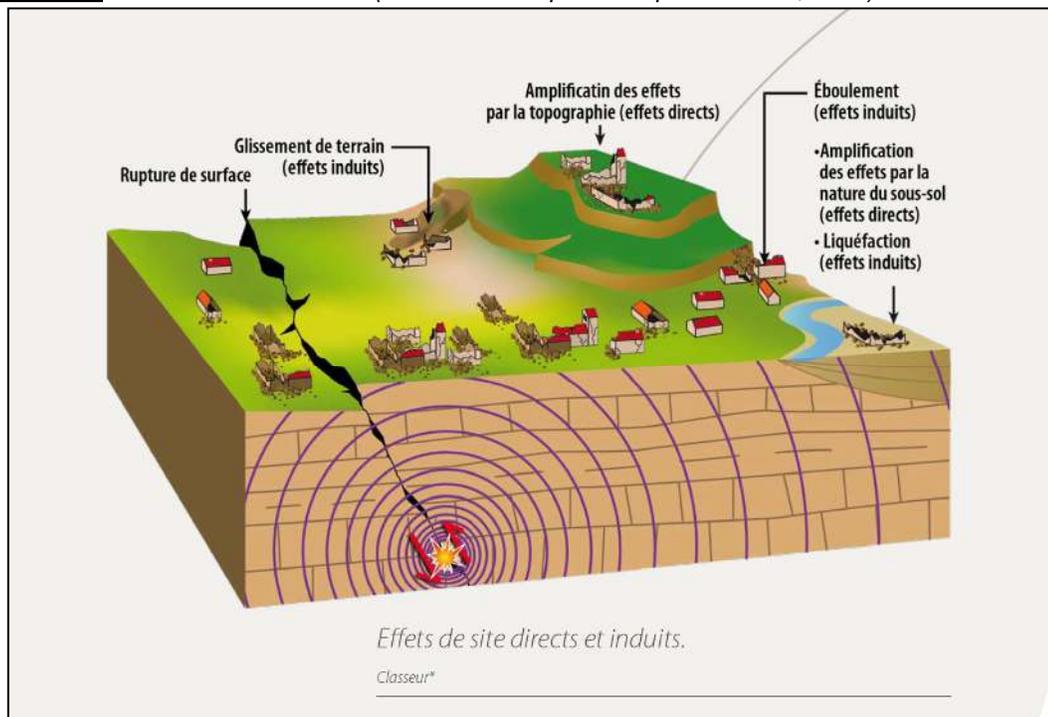


Nota : compte tenu des conditions expérimentales, l'intensité du choc produit par l'expérimentateur n'est pas calibrée. On considère de plus que les deux blocs A et B sont de densité homogène.

Document 1.4 : photographies contemporaines des communes de Venelles, Rognes et Vernègues.



Document 1.5 : séisme et effet de site (classeur Le risque sismique en PACA, 2006).



Document 2.1 : article de La Recherche : « En attendant le Big One »

En attendant le Big One

Par Viviane Thivent dans mensuel n°395 daté mars 2006 à la page 56 (958 mots) | Gratuit

Comment parler de grands séismes californiens sans aborder celui qui constitue, sans doute, le thème préféré des films catastrophes américains : le Big One, ce séisme monstrueux censé frapper la Californie d'un jour à l'autre. Mais s'agit-il d'un mythe ou de la réalité ?

Réponse de Barbara Romanowicz, directrice du laboratoire de sismologie de l'université de Berkeley : « Nous nous préparons à l'éventualité de deux très forts séismes, l'un dans la région de Los Angeles, et l'autre dans la région de San Francisco. Ceux-ci peuvent se produire demain, ou dans les décennies à venir. »

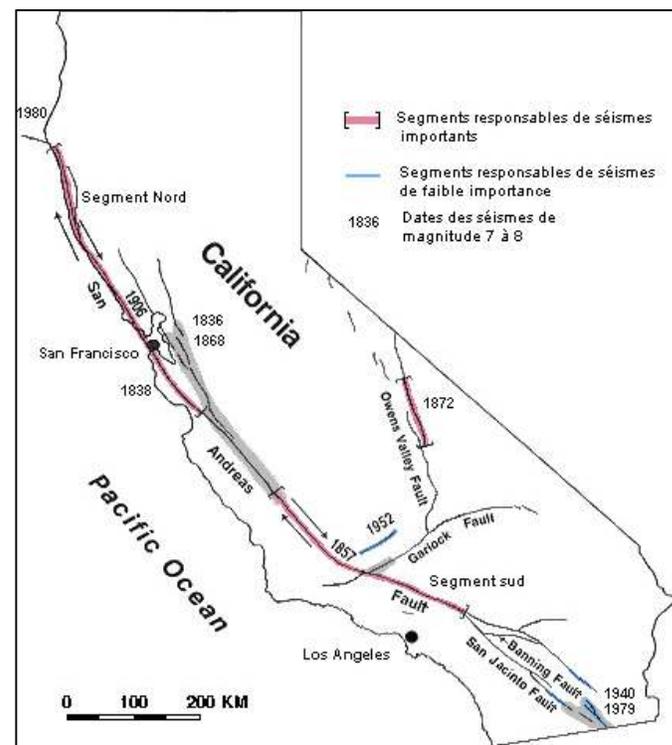
Elle précise : « Les études de l'Institut américain de géologie USGS indiquent une probabilité de 62 % d'avoir un séisme de magnitude 7 ou plus dans la région de la baie de San Francisco dans les trente années à venir. » .

[...] La partie sud de la faille de San Andreas n'a pas été le siège d'un séisme majeur depuis 1857. Cela fait donc près de cent cinquante ans que les contraintes s'accroissent à proximité de Los Angeles. Inquiétant. En effet, « la récurrence des séismes du type San Francisco 1906 ou Los Angeles 1857 est estimée à environ 150-200 ans », explique Barbara Romanowicz.

Longue périodicité

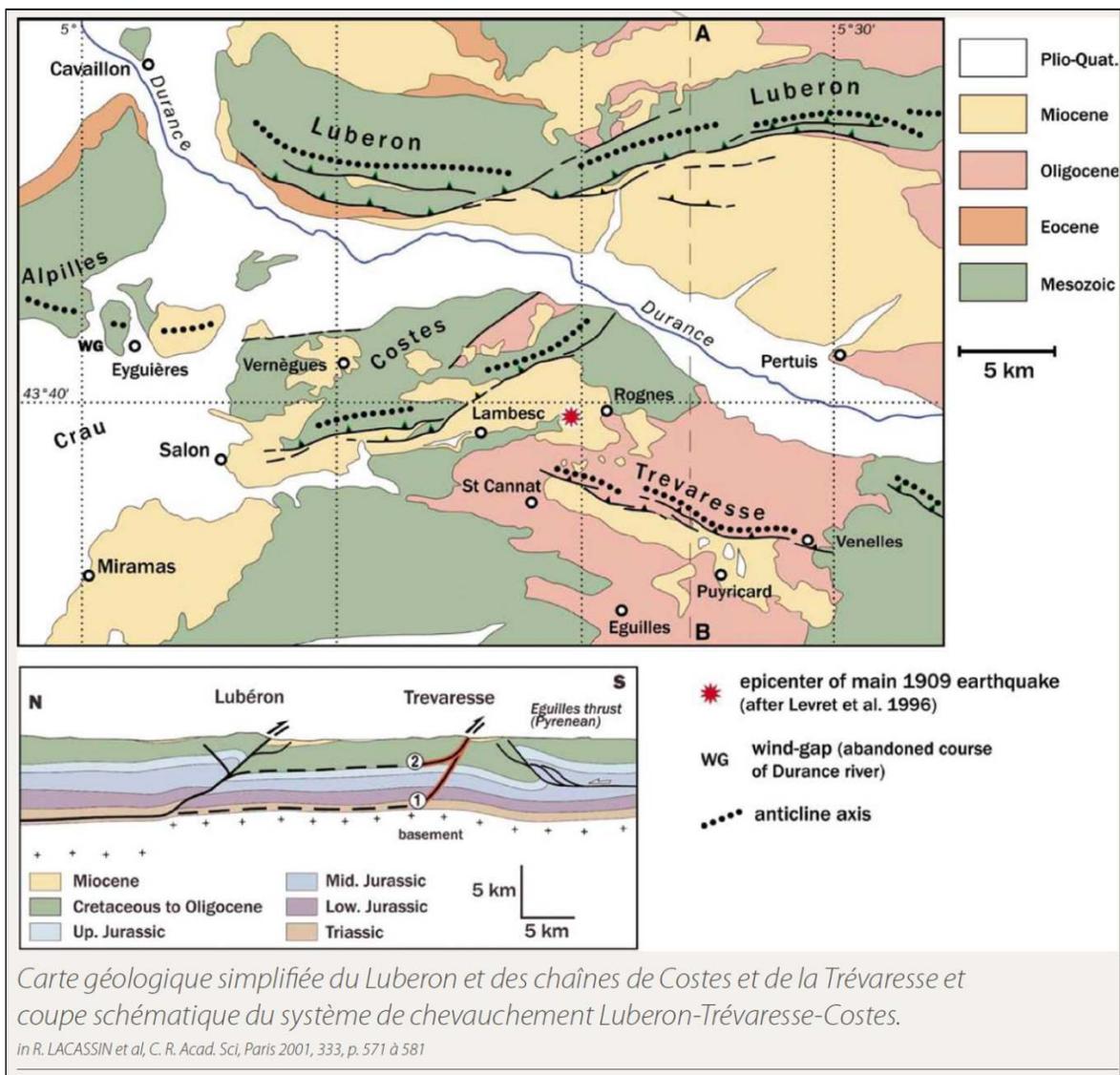
D'où vient cette périodicité ? De l'étude des mouvements tectoniques qui ont lieu en Californie. Le long de la faille de San Andreas coulisent les plaques pacifique et nord-américaine. Puisqu'elles se décalent, l'une par rapport à l'autre, de 49 millimètres par an, il faudrait, déduction faite, environ cent ans pour accumuler un déplacement de 5 mètres, l'équivalent du mouvement généré lors du séisme de San Francisco en 1906.

<http://www.larecherche.fr/savoirs/geologie/2-attendant-big-one-01-03-2006-81686>



Carte de la Californie situant la faille de San Andreas et ses différents segments actifs.

Document 2.2 : carte de la Provence situant la faille de la Trévaresse impliquée dans le séisme de 1909



Document 2.3 : relation entre magnitude maximale possible et longueur d'une faille active.

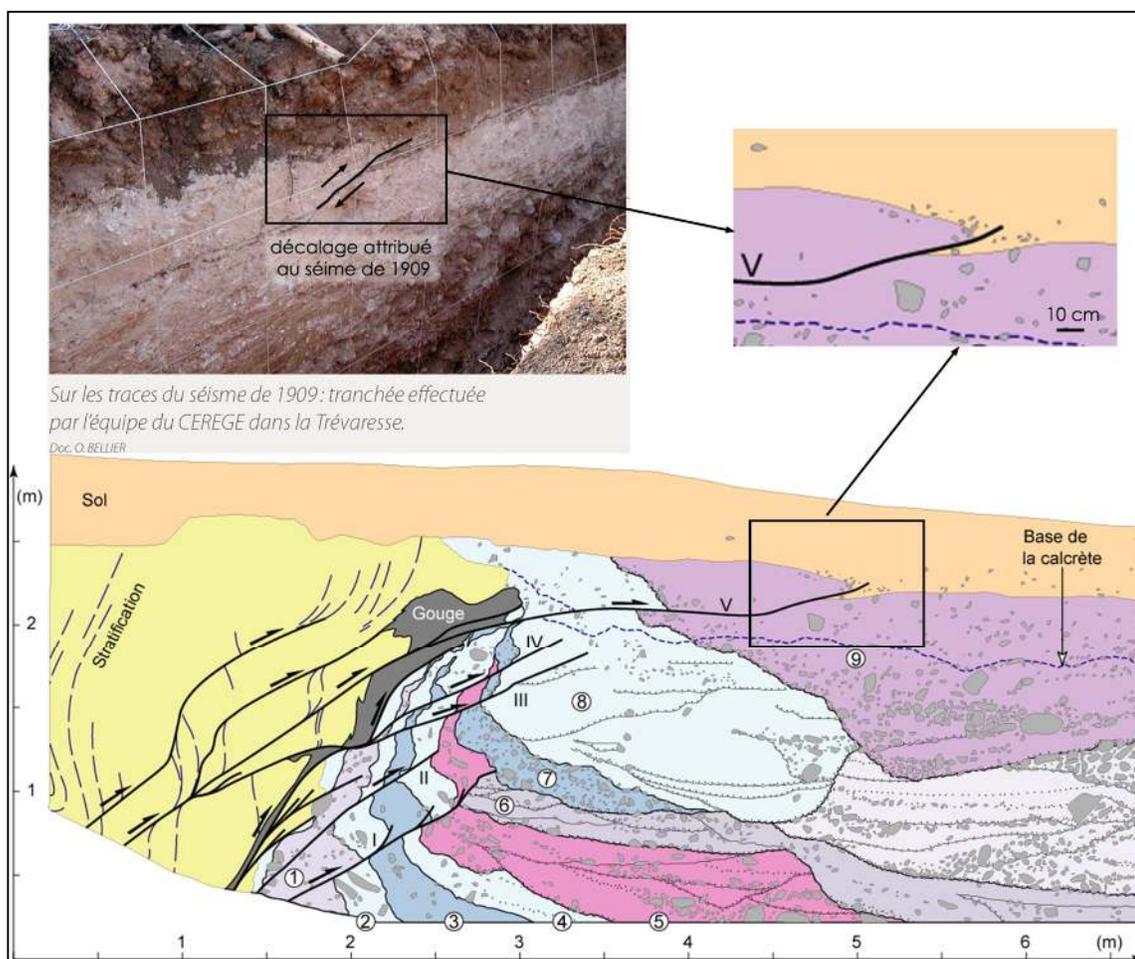
Longueur de la faille activée (km)	Magnitude
1000	M = 9
100	M = 8
30	M = 7
10	M = 6
1	M = 4
0,1	Microséisme imperceptible

Document 2.4 : quelques valeurs permettant de décrire l'activité sismique de la faille de San Andreas

	Longueur de la faille (km)	Dernier séisme connu (M>7)	Magnitude Maximale possible	Vitesse de mouvements de part et d'autres de la faille	Déplacement lors du dernier séisme important	Réurrence minimale
San Andreas « segment sud »	220	1857	8	20 à 50 mm	5 m (en 1857)	100 ans

Nota : la faille de San Andreas peut être divisée en un tronçon nord et un tronçon sud qui n'accablent pas les contraintes de la même façon. Ici on se contente de raisonner sur le tronçon sud, sur lequel et bâtie la ville de Los Angeles.

Document 2.5 : données de terrain sur l'amplitude des mouvements provoqués par la faille de la Trévaresse lors du séisme de 1909. Photo et relevés de coupe d'une tranchée (d'après Chardon et al., 2005 - Geology).



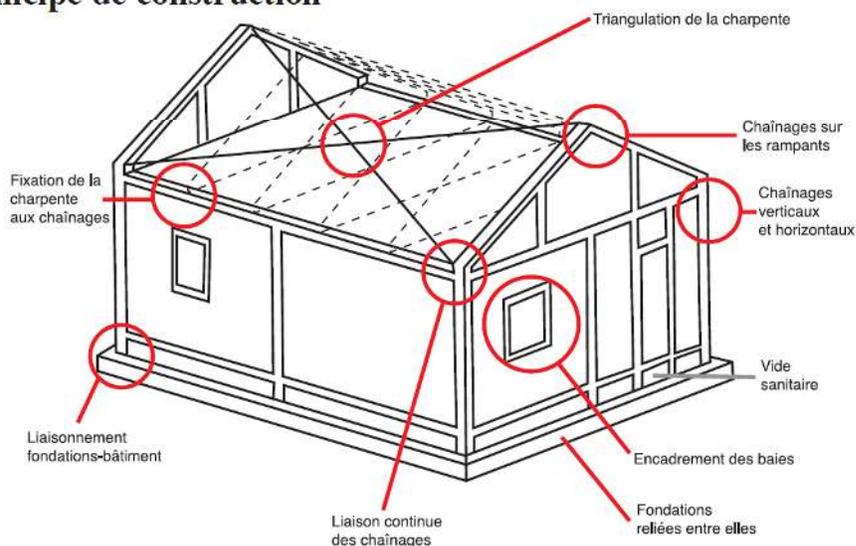
« L'étude géologique des terrains réalisés par Chardon et al (2005) a révélé plusieurs petites failles inverses, de rejet d'ordre décimétrique à pluridécimétrique, déformant les formations miocènes (-10 millions d'années) à quaternaires (-2 Millions d'années). [...] Le sol brun d'âge très récent (probablement quelque milliers d'années) est impliqué dans la déformation. Il s'agit peut être de la rupture des terrains étendue jusqu'à la surface du sol lors du séisme de 1909. L'étude de ces déformations tectoniques indique pour la Trévaresse une vitesse de 0,05mm/an à 0,3mm/an. »

Le parasismique, une obligation... Quel surcoût ?

Le parasismique serait cher ?

Pour les bâtiments courants ne dépassant pas trois étages, le coût de la mise aux normes est estimé entre **1 à 2 % du total** ou 4% du gros œuvre **lorsque les règles sont intégrées dès la conception**. Un séisme provoquerait des dégâts dont les frais de réparations s'élèveraient bien davantage.

Principe de construction



http://www.risquesmajeurs-hautes-pyrenees.pref.gouv.fr/upload/site/MAITRES_OUVRAGE.pdf

Document 3.2 : durée de vie moyenne des matériaux de construction.

Durée de vie typique	Type de matériaux
10 ans	Aménagements intérieurs
25 ans	Portes et fenêtres en PVC
30 ans	Portes
50 ans	Isolants - Cloisons en plâtre - Bardage bois Enduits
100 ans	Murs - Planchers - Bois de charpente - OSB Ossature bois - Tuiles béton - Rupteurs

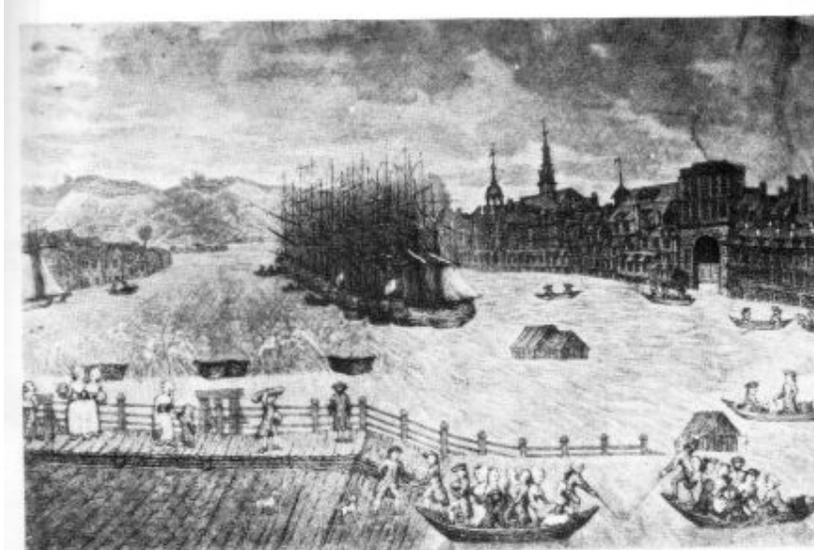
<http://www.unibeton.fr/NR/rdonlyres/B17FE724-2DAC-4694-B86E-A003A19605CE/0/EtudeQEBSynthese.pdf>

De l'été 1783 à l'automne 1784 - Grande frayeur sur la France...

Extraits de mentions insolites des registres d'état civil de l'Ain, 1783 et 1784 :

" Cette même année, un brouillard continuel a régné tout l'été de façon qu'on regardoit aisément et sans être ébloui le soleil qui paroissoit rouge et d'une circonférence une fois plus grande. Le peuple s'en effrayoit. On a éprouvé dans la même année des maladies épidémiques dans bien des endroits et surtout dans les pays de Gex et Bresse. [...]

[...] ça été dans le courant de l'été de 1783 qu'on a vu dans l'atmosphère une espèce de fumée ressemblant aux Brouillards. Les Physiciens ont beaucoup raisonné et déraisonné sur cette fumée qui a été généralement répandue sur tout notre continent et sur la mer et qui ne disparoit même encore entièrement à ce moment quoiqu'elle dure depuis près de huit mois [...]



L'inondation de 1784.

Tab. 36

L'hiver 1783-84 fut marqué par de fortes chutes de neige à partir du 12 janvier, suivies d'un grand gel de -14°C. Cet hiver a été le plus rude qu'on ait éprouvé depuis plus d'un siècle.

La neige, d'une hauteur de 4 pieds*), a commencé à fondre le 27 février provoquant des inondations.

*1 pied = environ 30 cm

Question : dégager de l'exploitation de ces documents, les différents aspects et les causes de cette catastrophe. Présenter les liens de cause à effet mis en évidence précédemment sous la forme synthétique de votre choix.

Document 1 : maladies et évaluation des décès en 1783

D'après « l'histoire n°343, juin 2009 »

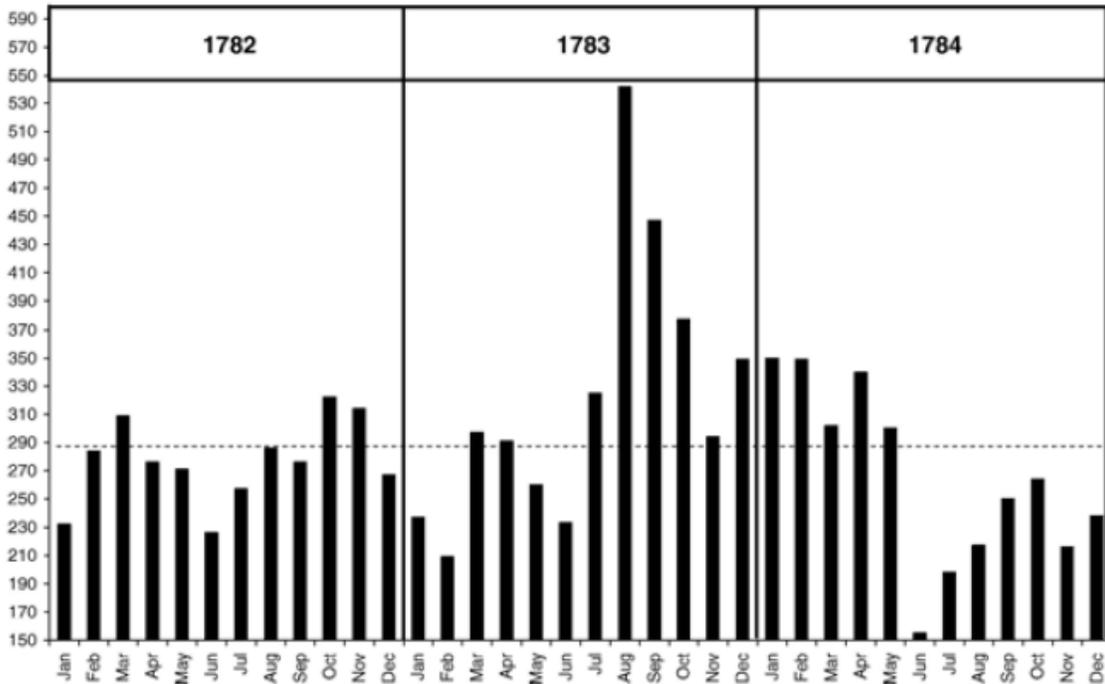
Document 1a : maladies constatées par le Dr Lépecq et mortalité en France.

« A peine touchions-nous aux jours caniculaires, moment où nous ont quittés les brouillards qui n'avaient pas affaibli la chaleur de l'atmosphère brûlante, moment où les maux de gorge ont disparu quoiqu'ils eussent été multipliés dans le cours de juillet et cependant fort peu dangereux. Tout à coup nos habitants (Rouen) et ceux de la campagne ont été frappés des atteintes du choléra, de secousses, de vomissements, de coliques vives, de diarrhées fatigantes. » « Ainsi se terminait notre été le plus injecté des vapeurs atmosphériques et le plus fécond en maladie que j'ai vu depuis vingt ans que j'écris les maladies régnantes ».

A Poitiers, le docteur de la Mazière signale également « des fièvres putrides malignes dont les symptômes étoient un pouls élevé, la langue sèche, aride couverte d'un sédiment jaune brun » suggérant l'inhalation de soufre présent dans l'air.

Document 1b : nombre de décès par mois entre 1782 et 1784

Compilation des données de 53 paroisses en France, la ligne pointillée correspond à une moyenne mensuelle sur 3 ans : 287



Document 2 : Caractéristiques du brouillard sec de 1783

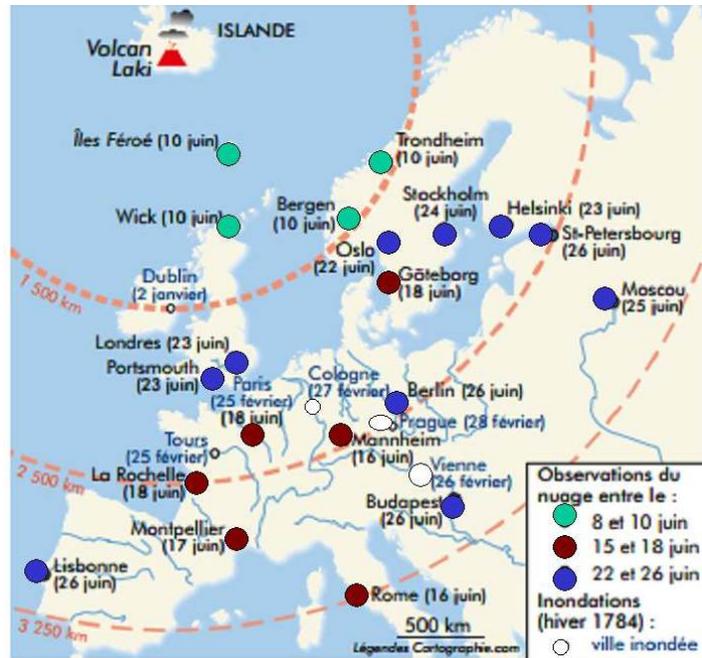
D'après « l'histoire n°343, juin 2009 »

Document 2.a. Expériences pour déterminer la nature de ce brouillard

« On entendoit dire de plus que pour éprouver et mieux connoître la nature de l'air ; on avoit fait élever à l'Observatoire de Paris de très grands cervolans, qu'on avoit eu la précaution de garnir auparavant de tranches de viande coupées très minces, et que lorsqu'au bout d'un certain espace de tems, on avoit retiré ces cervolans, la viande s'étoit trouvée entièrement corrompue*.»
 Extrait du Journal du libraire Hardy juin et juillet 1783.

*La corruption de la viande correspondrait à une dégradation de celle-ci par des vapeurs d'acide sulfurique (H₂SO₄).

Document 2.b : Propagation du brouillard sec en juin 1783 et inondations



Document 3: l'éruption du volcan islandais

Document 3.a : localisation et présentation de l'éruption volcanique



D'après Wikipédia

Fissure de 25 km et volcans disposés le long de cette fissure

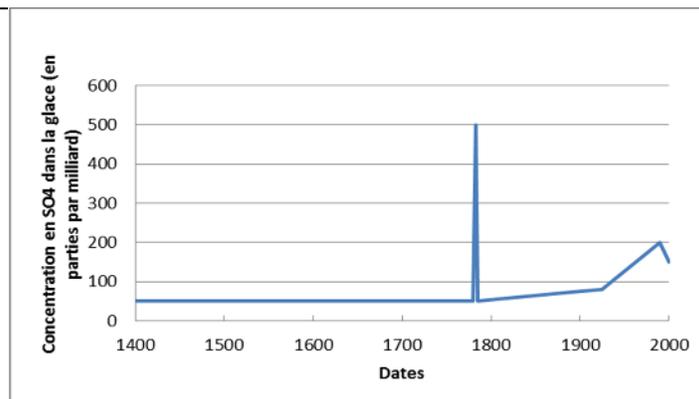
Le système volcanique du Laki, est situé dans la zone principale d'émergence de la dorsale médio-atlantique, (couplée avec la présence d'un point chaud) qui traverse l'ensemble de l'Islande.

Le Laki, qui culmine à 500 m d'altitude, s'est mis en place lors d'une éruption phénoménale ayant commencé début juin 1783 par une gigantesque fissure laissant échapper une lave très fluide.

L'éruption du Laki est ainsi le plus important épanchement de laves des temps historiques dans le monde. Les coulées de lave ont recouvert une surface de 565 km² soit 5 fois la superficie d'une ville comme Paris, pour un volume global, gigantesque, estimé à 12,3 km³.

Document 3.b : évolution de la concentration en oxyde de soufre (SO₄) dans l'atmosphère depuis 600 ans, mesurée dans les carottes forées dans les glaces du Groenland.

(D'après le rapport IPCC 2001).



Remarque : l'augmentation au XX^{ème} siècle est liée aux activités industrielles.

On estime à 20 millions de tonnes de dioxyde carbone (CO₂) émis au cours de l'éruption du Laki de 1783.

Cette pollution volcanique naturelle contamina, durant l'été 1783, les eaux de surface et l'essentiel des pâturages islandais. Ainsi, 11 000 bovins (50%), 200 000 moutons (80%), 28 000 chevaux (75%) et les trois quarts des animaux sauvages périrent. Entre 1783 et 1786, la mortalité fut de l'ordre de 22% (environ 10 500 personnes) du fait d'une terrible famine, connue dans l'histoire islandaise sous la dénomination de « famine de la brume », et des épidémies qui suivirent l'éruption.

Document 4 : données climatiques de l'hiver 1783 et du printemps 1784 et conséquences

D'après « l'histoire n°343, juin 2009 »

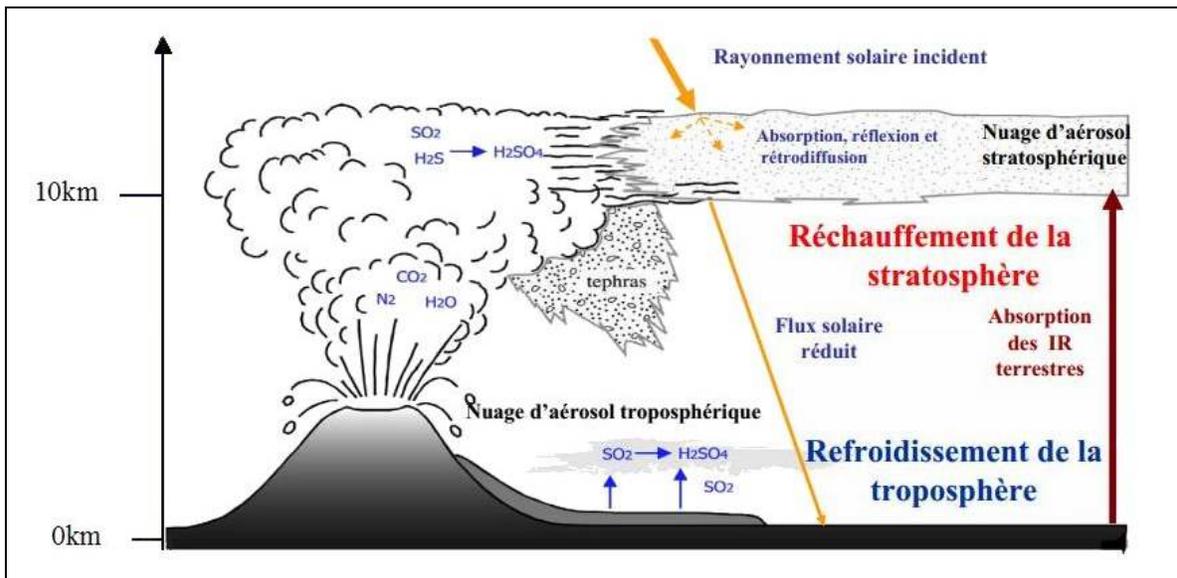
« Les journaux et le libraire Hardy mentionnent l'arrivée d'une première vague de froid à Paris le 15 décembre. Les basses eaux de la Seine favorisent la formation de blocs de glace. A la fin du mois, la neige se met de la partie et tombe sans discontinuer pendant trois jours « en prodigieuse quantité comme on n'en avait pas vu depuis très longtemps.

C'est dans ce contexte que se produisent, autour des 18-19 février 1784, les premières inondations dans la partie nord de la France. Le redoux brutal fait fondre la neige accumulée depuis un mois, compliquant le moindre déplacement dans les rues, où les chutes se multiplient, et sur les routes de Charente-Maritime. En Normandie, la catastrophe survient le 19 février pour la vallée de l'Orne. Elle touche la ville de Caen les 23 et 24 février 1784, les eaux envahissant les rues pendant huit jours ».

Document 5 : impacts d'une éruption volcanique majeure sur l'atmosphère

Vincent Courtillot

Institut de Physique du Globe de Paris et Université Paris-Diderot
http://www.canalacademie.com/IMG/pdf/Courtillot_As30juin.pdf



IR : rayonnement infrarouge

Tephras : fragments solides expulsés dans l'air pendant l'éruption volcanique